

DC supply unit with fast response and freedom from transients - uses pulse width control of multiple DC sources connected in series and smoothed

Publication number: DE3924398 (A1)

Publication date: 1991-01-31

Inventor(s): BOEHRINGER ANDREAS PROF DR ING [DE]; LETTAU ULRICH [DE]

Applicant(s): BOEHRINGER ANDREAS [DE]

Classification:

- **International:** B23H1/02; B23H7/04; H02M3/158; H02M3/28; H02M3/335; B23H1/02; B23H7/04; H02M3/04; H02M3/24; (IPC1-7): H02M1/12; H02M3/04; H02M3/24

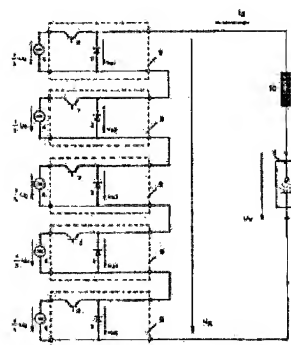
- **European:** B23H1/02B; B23H7/04; H02M3/158; H02M3/28B; H02M3/335S

Application number: DE19893924398 19890724

Priority number(s): DE19893924398 19890724

Abstract of DE 3924398 (A1)

A number of individual pulses D.C. sources (6) is connected in series with each source contributing an equal proportion of the required load voltage (UV) as a result of D.C. level controllers (9) operating on pulse width control. The inductance of the single smoothing choke (10) in the output circuit is inversely proportional to the square of the number of D.C. sources (6) and the choke (10) can therefore be substantially reduced in size. **USE/ADVANTAGE** - Economic circuit to supply two terminal D.C. load in spark erosion, cathode metal spraying or laser processing appts. Rapid response to control and almost complete absence of overshoot or harmonic transient.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
11 DE 3924398 A1

21 Aktenzeichen: P 39 24 398.2
22 Anmeldetag: 24. 7. 89
43 Offenlegungstag: 31. 1. 91

51 Int. Cl. 5:
H 02 M 1/12
H 02 M 3/04
H 02 M 3/24
// B23H 1/02, 7/04

DE 3924398 A1

71 Anmelder:

Boehringer, Andreas, Prof. Dr.-Ing.habil., 7000
Stuttgart, DE

72 Erfinder:

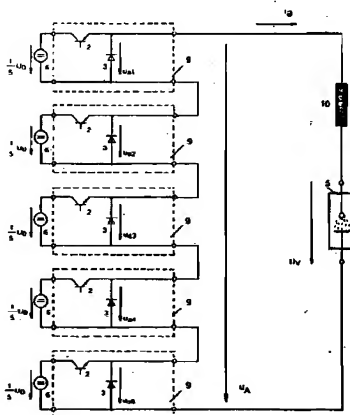
Boehringer, Andreas, Prof. Dr.-Ing.habil., Lettau,
Ulrich, 7000 Stuttgart, DE

54 Einrichtung zur Speisung eines Verbraucherzweipols mit einem weitgehend überschwingungsfreien und dennoch rasch veränderbaren Gleichstrom

Elektrische Verbraucherzweipole müssen in vielen Anwendungsfällen mit dynamisch eingprägtem, jedoch rasch veränderbarem Gleichstrom versorgt werden. Bisher verbreitete Schaltungsanordnungen benötigen zur Glättung des Ausgangsstromes eine Drossel, deren Induktivität oft so groß ist, daß die erreichbare Änderungsgeschwindigkeit des Ausgangsstromes nicht ausreicht. Die erfindungsgemäße Einrichtung soll diesen Nachteil vermeiden.

n (hier beispielhaft $n = 5$) Gleichspannungs-Tiefsetzsteller (9) werden durch n voneinander potentialgetrennte Gleichspannungsquellen (6) mit jeweils $1/n$ der am Verbraucherzweipol (5) maximal erforderlichen Spannung versorgt. Die Tiefsetzsteller (9) werden nach dem Prinzip der Pulsweitenmodulation betrieben, wobei die einheitlich großen Taktperioden jeweils um $(1)/n$ der Periodendauer versetzt sind. Die Tiefsetzsteller (9) werden derart angesteuert, daß sich bei allen derselbe Aussteuergrad ergibt. Dadurch wird erreicht, daß die Induktivität der Glättungsdrossel (10) auf $1/n^2$ des sonst üblichen Wertes reduziert werden kann.

Einsatzgebiete der Erfindung sind z. B. die Funkenerosion, die Kathodenzerstäubung von Metallen oder die Speisung von Lasern für die Werkstoffbearbeitung.



DE 3924398 A1

In zahlreichen Anwendungen der modernen Technik stellt sich in zunehmendem Maße die Aufgabe, im Rahmen von technischen Prozessen, und da insbesondere bei der Materialbearbeitung, elektrische Verbraucherzweipole, welche in der Regel Entladungsstrecken sind, mit dynamisch eingepprägtem, jedoch rasch veränderbarem Gleichstrom zu versorgen. Lediglich als Beispiele hierfür seien die Werkstoffbearbeitung mittels Funken-erosin, die Kathodenzerstäubung von Metallen mit dem Plasma-Magnetron und die Speisung von Blitzlampen für optisch gepumpte Laser genannt.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird bisher hauptsächlich die Schaltungsanordnung nach Fig. 1, der sogenannte potentialverbindende Gleichspannungs-Tiefsetzsteller, eingesetzt.

Dort versorgt die Gleichspannungsquelle (1) die ihr nachgeschaltete Anordnung, bestehend aus dem elektronischen Schaltelement (2), der Freilaufdiode (3), der Glättungsdrossel (4) sowie dem zu speisenden Verbraucherzweipol (5) mit der konstanten Spannung U_0 . Das beispielhaft als bipolarer Transistor ausgeführte elektronische Schaltelement (2) könnte ebenso mit Hilfe anderer leistungselektronischer Bauelemente, wie z. B. Feldeffekt-Transistoren, GTO-Thyristoren, IGBTs oder Static Induction Transistoren realisiert werden.

Der genannte Transistor (2) wird nach dem Prinzip der Pulsbreitenmodulation mit einer festen Schaltfrequenz $f = 1/T$ betrieben, wobei die Einschaltdauer T_E dieses Transistors (2) von einer übergeordneten Regelung derart vorgegeben wird, daß sich im zeitlichen Mittel der gewünschte Strom i_A durch den Verbraucherzweipol (5) einstellt. Ein Funktionieren der Schaltung erfordert, daß die Spannung u_A am Verbraucherzweipol kleiner ist als die Spannung U_0 der Gleichspannungsquelle (1). In Fig. 2 ist der Verlauf der an der Reihenschaltung aus Verbraucherzweipol (5) und Glättungsdrossel (4) anliegenden Spannung u_A jeweils für die Einschaltdauer $T_E = 0,1 \cdot T$, $T_E = 0,45 \cdot T$ und $T_E = 0,8 \cdot T$ des Transistors (2) wiedergegeben.

Bestimmt man den auf die Spannung U_0 bezogenen Effektivwert U_{0eff}/U_0 des in dieser Spannung u_A enthaltenen Wechselanteils in Abhängigkeit vom Aussteuergrad T_E/T des Gleichspannungstiefsetzstellers, so erhält man den in Fig. 3 dargestellten Verlauf.

Sehr häufig wird nun an die in Rede stehende Einrichtung die Anforderung gestellt, daß bei einer sprunghaften Änderung des Sollwerts für deren Ausgangsstrom dieser schnellstmöglich seinen neuen Wert annimmt, um z. B. eine Pulsbarkeit dieses Ausgangsstroms zu ermöglichen. Gleichzeitig wird meist aber noch gefordert, daß die Schwankungsbreite des Ausgangsstroms bei konstantem Sollwert möglichst gering ist. Sofern bei der Schaltungsanordnung nach Fig. 1 im Hinblick auf die gewünschte, schnelle Stromänderung bei einem Sprung des Stromsollwertes die Induktivität der Glättungsdrossel (4) nur sehr klein dimensioniert werden kann, so ist eine geringe Schwankungsbreite des Ausgangsstroms i_A dort nur über eine entsprechend hohe Schaltfrequenz f zu erreichen. Angesichts der Eigenschaften der verwendeten leistungselektronischen Schaltelemente sind dieser Schaltfrequenz f aber nach oben hin sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus technischen Gründen deutliche Grenzen gesetzt.

Mit der vorliegenden Erfindung wird eine Schaltungsanordnung vorgestellt, die trotz der begrenzten Schaltfrequenz ihrer einzelnen leistungselektronischen Schalt-

elemente bei vorgegebener maximal zulässiger Stromschwankungsbreite gegenüber der herkömmlichen Schaltungsanordnung nach Fig. 1 eine erhebliche Verminderung der wirksamen Glättungsinduktivität zuläßt und infolgedessen sehr hohe Stromänderungsgeschwindigkeiten erlaubt.

Bei der erfindungsgemäßen Einrichtung handelt es sich um eine Anordnung, bei welcher an n ($n = 2, 3, \dots$) voneinander potentialgetrennte Gleichspannungsquellen jeweils ein Exemplar von insgesamt n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzstellern angeschlossen ist. Diese n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller werden nach dem Prinzip der Pulsbreitenmodulation mit einer einheitlich großen Taktperiodendauer T betrieben. Der erste Grundgedanke der Erfindung besteht darin, daß die einheitlich langen Taktperioden der genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller in symmetrischer Weise um $1/n$ der Taktperiodendauer T zeitlich gegeneinander versetzt werden und daß die genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller derart angesteuert werden, daß sich im elektrisch eingeschwungenen Zustand bei jedem der n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller derselbe Aussteuergrad, d. h. dasselbe Verhältnis von der jeweiligen Einschaltdauer T_E zur Taktperiodendauer T ergibt.

Der zweite Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist der, daß die genannten n potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller ausgangseitig in Reihe geschaltet werden und daß der zu speisende Verbraucherzweipol an diese Reihenschaltung der genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller angeschlossen wird.

Für den Fall $n = 5$ ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Einrichtung nach Fig. 4 dargestellt. Die 5 voneinander potentialgetrennten Gleichspannungsquellen (6) müssen dort bei selbem Verbraucherzweipol (5) wie in Fig. 1 nur ein Fünftel der Spannung U_0 der Spannungsquelle (1) in Fig. 1 aufweisen, um dieselbe maximale Spannung u_A am Verbraucherzweipol (5) wie bei der Anordnung nach Fig. 1 herbeiführen zu können. Die diesen 5 Gleichspannungsquellen (6) zugeordneten 5 Gleichspannungs-Tiefsetzsteller (7) sind beispielhaft entsprechend dem in Fig. 1 dargestellten einzelnen Gleichspannungs-Tiefsetzsteller mit jeweils einem bipolaren Leistungstransistor (2), einer Freilaufdiode (3) und einer Glättungsdrossel (4) ausgestattet.

Zur Verdeutlichung der erfindungsgemäßen Ansteuerung der 5 Gleichspannungs-Tiefsetzsteller in Fig. 4 sollen Fig. 5, Fig. 6 und Fig. 7 zu Hilfe genommen werden. Dort sind jeweils die zeitlichen Verläufe der Spannungen $u_{A1} \dots u_{A5}$ an den 5 Freilaufdiolen (3) der Gleichspannungs-Tiefsetzsteller (7) in Fig. 4 sowie die Summe u_A dieser Spannungen bei drei unterschiedlichen Aussteuergraden T_E/T aufgetragen. Es ist jeweils der elektrisch eingeschwungene Zustand dargestellt. In Fig. 5 sind die Verhältnisse für den Aussteuergrad $T_E/T = 0,1$ wiedergegeben. Die Spannungen u_{A1} bis u_{A5} haben demnach die zeitlichen Verläufe von Rechteckpulsen der Amplitude $1/5 U_0$ der konstanten Frequenz $f = 1/T$ und der für alle 5 Verläufe identischen Pulsbreite $T_E = 0,1 \cdot T$. Die 5 Rechteckpulse sind zeitlich äquidistant um jeweils $T/5$ versetzt. Die Summe u_A dieser Spannungen hat ebenfalls den Verlauf eines Rechteckpulses der Amplitude $1/5 U_0$, dessen Pulsfrequenz jedoch um den Faktor 5 größer ist als diejenige der Einzelspannungen $u_{A1} \dots u_{A5}$.

In Fig. 6 sind die Verhältnisse für den Aussteuergrad $T_E/T = 0,45$ dargestellt. Die Spannungen u_{A1} bis u_{A5} haben wieder die zeitlichen Verläufe von gegeneinander zeitlich äquidistant um jeweils $T/5$ versetzten Rechteckpulsen der Amplitude $1/5 U_0$ und der konstanten Frequenz $f = 1/T$. Die für alle 5 Rechteckpulse gleiche Pulsbreite beträgt $T_E = 0,45 T$. Die Summe u_A dieser Spannungen hat nun den Verlauf einer Gleichspannung der Größe $0,4 U_0$ mit einem überlagerten Rechteckpuls der Amplitude $1/5 U_0$ und der Frequenz $5 f$.

In Fig. 7 sind schließlich die Verhältnisse für den Aussteuergrad $T_E/T = 0,8$ wiedergegeben. Die Spannungen u_{A1} bis u_{A5} überlappen sich nun derart, daß deren Summe u_A eine reine Gleichspannung der Größe $0,8 U_0$ ist.

Bestimmt man den auf die Spannung U_0 bezogenen Effektivwert $U_{OS,eff}/U_0$ der Summe aller Wechselanteile der bei der erfindungsgemäßen Anordnung nach Fig. 4 an der Reihenschaltung aus Verbraucherzweipol (5) und den 5 Glättungsdrosseln (8) anliegenden, resultierenden Spannung

$$u_A = \sum_{v=1}^5 u_{Av},$$

im folgenden kurz als Ausgangsspannung u_A bezeichnet, in Abhängigkeit des Aussteuergrades T_E/T der 5 Tiefsetzsteller (7), so erhält man den in Fig. 8 wiedergegebenen Verlauf. Vergleicht man nun Fig. 8 mit Fig. 3, so erkennt man, daß bei der erfindungsgemäßen Anordnung nach Fig. 4 der maximale Effektivwert des Wechselanteils der Ausgangsspannung u_A ein Fünftel des maximalen Effektivwertes des Wechselanteils der Spannung u_A in der herkömmlichen Anordnung gemäß Fig. 1 beträgt. Zudem ist — bei selber Schaltfrequenz f des Gleichspannungstiefsetzstellers in Fig. 1 und der 5 Gleichspannungstiefsetzsteller (7) in Fig. 4 — die Frequenz des Wechselanteils der Ausgangsspannung u_A bei der erfindungsgemäßen Anordnung nach Fig. 4 um den Faktor 5 größer als jener der Spannung u_A bei der herkömmlichen Anordnung gemäß Fig. 1.

Allgemein ist bei einer erfindungsgemäßen Anordnung aus n potentialverbindenden Gleichspannungstiefsetzstellern der maximale Effektivwert des Wechselanteils der Ausgangsspannung

$$u_A = \sum_{v=1}^n u_{Av},$$

um den Faktor n kleiner als bei der Ausgangsspannung u_A einer vergleichbaren herkömmlichen Anordnung entsprechend Fig. 1.

Es ist daher zulässig, die Induktivität der Speicherdrosseln der genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungstiefsetzsteller erheblich kleiner zu bemessen als dies üblich wäre, wenn diese Gleichspannungstiefsetzsteller nicht im Verbund, sondern getrennt betrieben würden. Alternativ dazu können die vorgenannten Ausgangsdrosseln durch einfache Leitungsstücke ersetzt werden und in die zum Verbraucher führende Verbindungsleitung nur eine einzelne Glättungsdrossel eingefügt werden. Die Induktivität dieser einen Glättungsdrossel kann dann erheblich kleiner bemessen werden als die Summe der Induktivitäten der durch sie ersetzten n Speicherdrosseln.

Schließlich ist es auch möglich, die beiden vorgenann-

ten Maßnahmen an der erfindungsgemäßen Einrichtung gemeinsam zu realisieren.

Ersetzt man im Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 die 5 Ausgangsdrosseln (8) durch einfache Leitungsstücke und fügt man in die zum Verbraucherzweipol (5) führende Leitung eine einzelne Glättungsdrossel (10) ein, so erhält man das in Fig. 9 dargestellte Ausführungsbeispiel. Die dort eingepfeilte Ausgangsspannung u_A ergibt sich aus der Überlagerung der 5 Spannungen $u_{A1} \dots u_{A5}$ und hat somit bei erfindungsgemäßer Ansteuerung der 5 Gleichspannungstiefsetzsteller (9) die bereits in Fig. 5, Fig. 6 sowie Fig. 7 dargestellten zeitlichen Verläufe. Bei selber Spannung U_0 und selber Schaltfrequenz der Transistoren (2) sowie bei selber maximal zulässiger Schwankungsbreite des Stroms durch den Verbraucherzweipol (5) muß die Drossel (10) der erfindungsgemäßen Anordnung in Fig. 9 lediglich $1/25$ der Induktivität der Drossel (4) der herkömmlichen Anordnung nach Fig. 1 aufweisen. Somit ermöglicht die erfindungsgemäße Anordnung nach Fig. 9 gegenüber der herkömmlichen Anordnung nach Fig. 1 eine um den Faktor 25 größere Änderungsgeschwindigkeit des Stroms durch den Verbraucherzweipol (5).

Die beschriebenen Überlegungen gelten allerdings nur dann, wenn nicht durch ein unterschiedliches Verhalten der n Gleichspannungstiefsetzsteller Unsymmetrien und damit Unterschwingungen im Wechselanteil der Ausgangsspannung u_A auftreten. Es ist daher angebracht, die Festlegung der Ein- und Ausschaltzeitpunkte in den n verschiedenen Ansteuerschaltungen der n Gleichspannungstiefsetzsteller außer über den momentan vorgeschriebenen Sollwert des Aussteuergrades, also des Verhältnisses der gewünschten Einschaltdauer T_E zur Taktperiodendauer T zusätzlich noch im Wege einer Vorsteuerung über die wichtigsten Kenngrößen, welche den momentanen Zustand der einzelnen Gleichspannungstiefsetzsteller kennzeichnen, vorzunehmen. Diese Kenngrößen können z. B. der Ausgangsstrom, die Temperatur der elektronischen Schaltelemente jedes einzelnen Gleichspannungstiefsetzstellers, die mittlere Ausgangsspannung oder andere, das Schaltverhalten der elektronischen Schaltelemente beeinflussende Parameter sein. Die genannte Vorsteuerung hat derart zu erfolgen, daß die n Istwerte des Aussteuergrades, also des sich tatsächlich einstellenden Verhältnisses der jeweiligen Einschaltdauer zur Taktperiodendauer, im Verlauf und nach Abschluß eines Ausgleichvorganges schnellst- und genauestmöglich zumindest einem einheitlichen Wert zustreben, oder, vorzugsweise, den für diesen Aussteuergrad einheitlich vorgeschriebenen Sollwert annehmen.

Fig. 10 zeigt eine mögliche Ausführungsform für das soeben beschriebene Verfahren. Beispielfalt ist links oben einer der fünf Gleichspannungstiefsetzsteller (9) aus Fig. 9 dargestellt. Die Ansteuerung der anderen vier Gleichspannungstiefsetzsteller (9) in Fig. 9 erfolgt entsprechend. Da die Speicherzeit eines bipolaren Transistors stark von seiner Temperatur und vom abzuschaltenden Strom abhängt, wird die Gehäusetemperatur θ des Transistors (2) mit einem geeigneten Temperatursensor (14) gemessen und der Ausgangsstrom i_A des Gleichspannungstiefsetzstellers über das Strommeßglied (15) erfaßt. Beide Meßgrößen werden mit Hilfe der Analog-Digital-Wandler (16) in digitale Werte umgesetzt. Zusammen mit dem digitalen Sollwert für den Aussteuergrad $T_{E,soll}/T$, der von einer übergeordneten Regeleinheit für alle 5 Tiefsetzsteller (9) einheitlich vorgegeben wird, werden die in digitaler Form vorliegen-

den Meßwerte für Temperatur und Strom einer Funktionseinheit (17) zugeführt, welche aus diesen drei Eingangsgrößen einen korrigierten Sollwert $T_{E, \text{Soll}}/T$ für den Aussteuergrad bestimmt, der derart vom ursprünglichen Sollwert abweicht, daß sich am Ausgang des Tiefsetzstellers (9) tatsächlich der gewünschte Aussteuergrad einstellt. Da die dafür erforderlichen Berechnungen sehr schnell erfolgen müssen, werden sie zweckmäßigerweise nur einmal vor der ersten Inbetriebnahme für alle möglichen Kombinationen der Eingangsgrößen durchgeführt und ihre Ergebnisse in einem elektronischen Speicher in Form einer Tabelle abgelegt. Aus dieser werden sie während des Betriebs der Anordnung bei Bedarf dann wieder abgerufen.

Das Ansteuersignal für den Transistor (2) wird mit Hilfe des digitalen Vergleichers (18) und des Binärzählers (12) sowie der Treiberschaltung (19) wie folgt erzeugt: Eine Taktlogik (11) generiert fünf äquidistant zueinander versetzte Taktsignale Φ_1, \dots, Φ_5 der Periodendauer T, die jeweils einem der fünf Gleichspannungs-Tiefsetzsteller (9) zugeordnet sind. Dem Gleichspannungs-Tiefsetzsteller in Fig. 10 sei beispielsweise das Taktsignal Φ_3 zugeordnet. Mit der positiven Flanke dieses Taktsignals wird der Zähler (12) auf den Zählerstand 0 zurückgesetzt. Anschließend wird der Zählerstand mit jeder positiven Flanke des im Oszillator (13) erzeugten Zähltaktes CLK um eins inkrementiert. Die Frequenz dieses Zähltaktes muß so gewählt sein, daß der Zählerstand innerhalb einer Periodendauer T des Taktsignals Φ_3 denjenigen Wert erreicht, welcher einen Aussteuergrad $T_E/T = 1$ des Transistors (2) (dies bedeutet, daß der Transistor (2) dauernd eingeschaltet ist) repräsentiert.

Solange der Zählerstand kleiner ist als der korrigierte Sollwert für den Aussteuergrad $T_{E, \text{Soll}}/T$, gibt der digitale Vergleich (18) ein Signal aus, welches den Transistor (2) in den leitenden Zustand versetzt. Überschreitet der Zählerstand den Wert des korrigierten Sollwerts für den Aussteuergrad $T_{E, \text{Soll}}/T$, so bewirkt das Ausgangssignal des Vergleichers (18), daß der Transistor (2) ausgeschaltet wird.

Das vorstehend beschriebene Verfahren besitzt den üblichen Nachteil einer Steuerung, daß nämlich eine fehlerhafte oder unvollständige Erfassung der den Zustand der einzelnen Tiefsetzsteller kennzeichnenden Größen, eine unzureichende Modellbildung bei der Bestimmung des korrigierten Sollwerts für den Aussteuergrad und Parameterdriften infolge Alterungserscheinungen der Bauelemente zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Wirkung der geschilderten Vorsteuerung zur Korrektur der Istwerte für den Aussteuergrad führen können.

Bei einer weiteren Ausbildungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung werden daher die sich bei den einzelnen Gleichspannungs-Tiefsetzstellern tatsächlich einstellenden Istwerte des Aussteuergrades, also des sich tatsächlich einstellenden Verhältnisses der jeweiligen Einschaltdauer T_E zur Taktperiodendauer T, meßtechnisch erfaßt. Die Differenzen dieser Istwerte zum momentan für diesen Aussteuergrad einheitlich vorgeschriebenen Sollwert nehmen dann bei der Festlegung der jeweiligen Ein- und Ausschaltzeitpunkte im Wege einer Regelung derart korrigierend Einfluß, daß die Istwerte des Aussteuergrades, also des sich tatsächlich einstellenden Verhältnisses der jeweiligen Einschaltdauer zur Taktperiodendauer im Verlauf und nach Abschluß eines Ausgleichvorgangs schnellst- und genaustmöglich zumindest einem einheitlichen Wert zustre-

ben oder, vorzugsweise, den für diesen Aussteuergrad einheitlich vorgeschriebenen Sollwert annehmen.

Ein Ausführungsbeispiel hierfür ist in Fig. 11 wiedergegeben. Wie im Ausführungsbeispiel nach Fig. 10 ist beispielhaft lediglich der dritte der fünf Tiefsetzsteller (9) aus Fig. 9 dargestellt; die Ansteuerung der anderen vier Tiefsetzsteller (9) erfolgt entsprechend. Mit Hilfe der Funktionseinheit (20) wird der Istwert $T_{E, \text{Ist}}$ der Pulsdauer des am Ausgang dieses Tiefsetzstellers (9) anliegenden Spannungspulses u_{A3} erfaßt, auf die Periodendauer T bezogen und in digitaler Form als Istwert $T_{E, \text{Ist}}/T$ des Aussteuergrades dieses Tiefsetzstellers ausgegeben. Dieser wird gemeinsam mit dem ebenfalls in digitaler Form vorliegenden Sollwert $T_{E, \text{Soll}}/T$ für den Aussteuergrad der 5 Tiefsetzsteller einem Funktionsblock (21) zugeführt, welcher aus Soll- und Istwert des Aussteuergrades mittels eines geeigneten Regelalgorithmus einen modifizierten Sollwert $T_{E, \text{Soll}}^*/T$ für den Aussteuergrad dieses Tiefsetzstellers (9) derart berechnet, daß sich am Ausgang dieses Tiefsetzstellers (9) im eingeschwungenen Zustand tatsächlich der gewünschte Aussteuergrad einstellt. Dieser modifizierte Sollwert wird dem nachfolgenden Schaltungsteil zur Erzeugung des Ansteuersignals für den Transistor (2) zugeführt, welcher mit dem entsprechenden Teil des Ausführungsbeispiels nach Fig. 10 übereinstimmt.

Mit dem soeben vorgestellten Verfahren der Regelung des Aussteuergrades der in der erfindungsgemäßen Einrichtung enthaltenen Gleichspannungs-Tiefsetzsteller gelingt es, im eingeschwungenen Zustand den Einfluß aller den Aussteuergrad beeinflussenden Störgrößen auszuregeln. Allerdings ist bei einem Sprung im Sollwert für den Aussteuergrad eine gewisse Zeit erforderlich, bis dieser eingeschwungene Zustand erreicht wird. Da ein solches Einschwingverhalten störend sein kann, sieht eine weitere Ausbildung der Erfindung vor, daß in ihr sowohl die bereits beschriebene Vorsteuerung des Aussteuergrades als auch die soeben beschriebene Regelung des Aussteuergrades gemeinsam realisiert sind.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 12 entsteht durch Kombination des Ausführungsbeispiels nach Fig. 10 mit demjenigen nach Fig. 11. Die Ausgangsgröße des den Regelalgorithmus ausführenden Funktionsblockes (21) wird dem Funktionsblock (17) zugeführt und dort gemeinsam mit den Werten für die Temperatur θ und den Ausgangsstrom i_A des Tiefsetzstellers (9) sowie dem Sollwert für den Aussteuergrad zur Bildung des bereits beschriebenen modifizierten Sollwerts $T_{E, \text{Soll}}^*/T$ herangezogen.

Oft ist es erforderlich, für die als elektronische Schaltelemente zum Einsatz kommenden Leistungstransistoren eine Mindest-Einschaltdauer einzuhalten. Für noch kleinere Zeiten dürfen diese Transistoren also nicht im eingeschalteten Zustand verharren. Eine derartige Mindest-Einschaltdauer ist beispielsweise dann erforderlich, wenn die in Rede stehenden Transistoren mit einer Ausschaltentlastung versehen sind. Sie kann durchaus im Bereich der angestrebten Taktperiodendauer T der einzelnen Gleichspannungs-Tiefsetzsteller liegen und daher bei dem beschriebenen Einsatzfall störend oder für diesen sogar prohibitiv sein.

Um diese Problematik zu umgehen, sieht eine weitere Ausbildung der Erfindung vor, daß die in den Gleichspannungs-Tiefsetzstellern eingesetzten n elektronischen Schalteinheiten jeweils als Reihenschaltung zweier elektronischer Schalter ausgeführt sind. Bei jeder Inbetriebnahme der erfindungsgemäßen Einrichtung wird

in jeder dieser elektronischen Schalteinheiten vorab einer der beiden darin enthaltenen elektronischen Schalter mindestens für die Dauer T einer Taktperiode eingeschaltet. Anschließend wird ein von einer einzelnen elektronischen Schalteinheit verlangtes Einschalten dadurch vollzogen, daß jener der in ihr enthaltenen elektronischen Schalter eingeschaltet wird, der momentan noch nicht eingeschaltet ist.

Ein von einer einzelnen elektronischen Schalteinheit verlangtes Ausschalten wird dann dadurch erreicht, daß jeweils derjenige der in ihr enthaltenen elektronischen Schalter ausgeschaltet wird, dessen letztes Einschalten jeweils länger zurückliegt. Durch diese Vorgehensweise ergibt sich für alle elektronischen Schalter der erfindungsgemäßen Einrichtung eine Mindestdauer ihrer Einschaltintervalle in Höhe der Taktperiodendauer T , sofern sichergestellt ist, daß von jeder der n elektronischen Schalteinheiten nur einmal pro Taktperiode ein Ausschalten verlangt wird.

Dies soll anhand eines Ausführungsbeispiels der Erfindung noch näher erläutert werden. Die fünf Tiefsetzsteller (9) in Fig. 9 werden dazu, wie in Fig. 13 dargestellt, ausgeführt. Anstelle der einzelnen Transistoren (2) in Fig. 9 ist die Reihenschaltung aus den beiden Transistoren (22) und (23) getreten. Die Transistoren können nun jeweils mit einer Ausschaltentlastung versehen sein, die in Fig. 13 aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet ist.

Zur Verdeutlichung des Steuerverfahrens dient Fig. 14, in der die zeitlichen Verläufe der Schaltzustände der Transistoren (22) und (23) sowie der Verlauf der Ausgangsspannung u_a wiedergegeben sind.

Zum Zeitpunkt $t=0$ sei der Transistor (22) für mindestens die Dauer einer Taktperiode T eingeschaltet gewesen; der Transistor (23) befinde sich in seinem ausgeschalteten Zustand. Eine Ansteuerlektronik, die z. B. gemäß Fig. 12 aufgebaut sein kann, verlangt zu diesem Zeitpunkt ein Einschalten der elektronischen Schalteinheit (24). Dem wird dadurch nachgekommen, daß zusätzlich zum bereits eingeschalteten Transistor (22) der Transistor (23) eingeschaltet wird.

Zum Zeitpunkt $t=T_E$ werde ein Ausschalten der Schalteinheit (24) befohlen. Dazu wird nun derjenige Transistor ausgeschaltet, der bereits länger im eingeschalteten Zustand verharrt, also der Transistor (22). Das nächste Einschalten zum Zeitpunkt $t=T$ wird dadurch bewirkt, daß dieser Transistor (22) wieder eingeschaltet wird. Das darauffolgende Ausschalten der Schalteinheit (24) wird durch Ausschalten des Transistors (23) erreicht, der zu diesem Zeitpunkt bereits mehr als eine volle Taktperiodendauer T im leitenden Zustand war. Ab dem Zeitpunkt $t=2T$ wiederholt sich die vorstehend beschriebene Reihenfolge in zyklischer Weise. Die Einschaltdauer der beiden Transistoren (22) und (23) liegt je nach Aussteuergrad des Tiefsetzstellers (9) zwischen der Periodendauer T und der doppelten Periodendauer $2T$. Somit ist eine Mindest-Einschaltdauer der Transistoren in Höhe der vollen Periodendauer garantiert.

Aber auch unter diesen Umständen fällt es häufig noch schwer, einen Transistor, der soeben mit hohem Ausräumfaktor ausgeschaltet wurde, kurz darauf wieder einzuschalten; in solchen Fällen ist es angezeigt, den einzelnen Schaltelementen der erfindungsgemäßen Einrichtung sowohl eine Mindest-Einschaltdauer als auch eine Mindest-Ausschaltdauer zu gewährleisten. Dies wird durch eine weitere Ausbildung der Erfindung möglich, bei der die in den n Gleichspannungs-Tiefsetzstel-

lern eingesetzten n elektronischen Schalteinheiten jeweils als Brückenschaltung von vier elektronischen Schaltern ausgeführt sind.

Bei jeder Inbetriebnahme der erfindungsgemäßen Einrichtung wird vorab innerhalb jeder dieser elektronischen Schalteinheiten in jedem der beiden darin enthaltenen Brückenarme einer der beiden dort in Reihe geschalteten elektronischen Schalter mindestens für die Dauer T einer Taktperiode eingeschaltet. Anschließend erfolgt jeweils das erste von einer dieser elektronischen Schalteinheiten verlangte Einschalten durch das Einschalten eines der beiden in ihr enthaltenen elektronischen Schalter, welche bis dahin noch nicht eingeschaltet waren. Ein darauffolgend von einer einzelnen, eingeschalteten elektronischen Schalteinheit verlangtes Ausschalten wird jeweils durch das Ausschalten jenes in ihr enthaltenen, momentan noch eingeschalteten elektronischen Schalters vollzogen, der Bestandteil des bis dahin leitenden Brückenarmes ist und der von den beiden in diesem Brückenarm enthaltenen elektronischen Schaltern derjenige ist, dessen letztes Einschalten jeweils länger zurückliegt. Ein darauffolgend von einer einzelnen, ausgeschalteten elektronischen Schalteinheit verlangtes Einschalten wird jeweils durch das Einschalten jenes in ihr enthaltenen, momentan noch ausgeschalteten elektronischen Schalters vollzogen, der Bestandteil desjenigen der beiden Brückenarme ist, bei welchem der Zustand des Leitens jeweils länger zurückliegt. Durch die geschilderte Vorgehensweise ergibt sich für alle elektronischen Schalter der erfindungsgemäßen Einrichtung eine Mindestdauer ihrer Ein- und Ausschaltintervalle von der Länge einer Taktperiodendauer.

Ersetzt man die fünf Tiefsetzsteller (9) in Fig. 9 jeweils durch die in Fig. 15 dargestellte Anordnung, so erhält man ein Beispiel für die soeben beschriebene Ausführungsform der Erfindung. Anstelle der einzelnen Transistoren (2) in Fig. 9 ist die aus den Transistoren (25), (26), (27) und (28) gebildete Brückenschaltung getreten. Zur Verdeutlichung des Steuerverfahrens werde Fig. 16 herangezogen, in der die zeitlichen Verläufe der Schaltzustände der Transistoren (25), (26), (27) und (28) sowie der Verlauf der Ausgangsspannung u_a wiedergegeben sind. Zum Zeitpunkt $t=0$ seien der Transistor (25) für die Dauer von mindestens zwei Taktperioden T und der Transistor (27) für die Dauer von mindestens einer Taktperiode T eingeschaltet gewesen; der Transistor (26) sei zum selben Zeitpunkt für mindestens die Dauer einer Taktperiode T ausgeschaltet gewesen. Eine Ansteuerlektronik verlangt zu diesem Zeitpunkt $t=0$ nun ein Einschalten der elektronischen Schalteinheit (29). Dem wird dadurch nachgekommen, daß der aus den Transistoren (25) und (26) gebildete obere Brückenarm durch ein Einschalten des bis dahin noch nicht leitenden Transistors (26) durchgeschaltet wird. Das zum Zeitpunkt $t=T_E$ befohlene Abschalten der elektronischen Schalteinheit (29) wird durch ein Abschalten des Transistors (25) vollzogen, da jener dem bis dahin leitenden Brückenarm angehört und bereits länger im leitenden Zustand war als der Transistor (26) aus demselben Brückenarm. Das nächste Einschalten zum Zeitpunkt $t=T$ wird durch ein Einschalten des Transistors (28) und damit das Einschalten des aus den Transistoren (27) und (28) gebildeten unteren Brückenarmes bewirkt. Das darauffolgende Abschalten wird durch ein Abschalten des Transistors (27) durchgeführt, der dem bis dahin leitenden unteren Brückenarm angehört und sich in diesem für die längere Zeitdauer im eingeschalte-

ten Zustand befand.

Im anschließenden Zeitintervall $2T \leq t < 3T$ werden Schaltaktionen wieder nur in dem aus den Transistoren (25) und (26) gebildeten Brückenweig vorgenommen, während im darauffolgenden Zeitintervall $3T \leq t < 4T$ Teurteil der untere Brückenweig für Schaltaktionen herangezogen wird. Ab dem Zeitpunkt $t = 4T$ wiederholt sich der beschriebene Ablauf in zyklischer Weise. Die Einschaltdauer der Transistoren (25), (26), (27) und (28) ist bei dem soeben geschilderten, erfindungsgemäßen Verfahren stets mindestens so lang, wie die doppelte Dauer einer Taktperiode T , während die Ausschaltdauer der genannten Transistoren stets mindestens eine volle Taktperiodendauer T beträgt. Wünschgemäß ist also sowohl eine Mindest-Einschaltdauer als auch eine Mindest-Ausschaltdauer gewährleistet.

Eine weitere Ausbildung der Erfindung erhält man, wenn man die in den bisherigen Ausbildungen der erfindungsgemäßen Einrichtung enthaltenen n potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller entfernt und durch n gleichartige, potentialtrennende Gleichspannungssteller ersetzt.

Ein an Fig. 9 angelehntes Ausführungsbeispiel hierfür zeigt Fig. 17. Die 5 ausgangsseitig in Serie geschalteten potentialtrennenden Gleichspannungssteller sind jeweils als Vierpol (30) mit einem stilisierten Übertrager dargestellt. Letzterer soll die im Gleichspannungssteller erfolgende Potentialtrennung andeuten.

In der zuletzt beschriebenen Ausbildung der Erfindung erfolgt die Potentialtrennung in den einzelnen Gleichspannungsstellern. Eine Potentialtrennung der zur Versorgung der n Gleichspannungssteller eingesetzten n Gleichspannungsquellen ist dabei also nicht mehr erforderlich.

Eine weitere Ausbildung der Erfindung sieht daher vor, die in der zuletzt beschriebenen Ausbildungsform enthaltenen n voneinander potentialgetrennten Gleichspannungsquellen zu einer gemeinsamen Gleichspannungsquelle zusammenzufassen.

Ein aus dem Beispiel in Fig. 17 hervorgegangenes Ausführungsbeispiel hierfür zeigt Fig. 18. An die Stelle der fünf voneinander potentialgetrennten Spannungsquellen (6) ist eine einzelne Spannungsquelle (31) getreten.

Eine letzte Ausbildung der Erfindung entsteht schließlich dadurch, daß die in den beiden letztgenannten Ausbildungsformen enthaltenen n potentialtrennenden Gleichspannungssteller aus jeweils zwei gleichartigen Teilmodulen zusammengesetzt werden. Bei diesen beiden gleichartigen Teilmodulen handelt es sich jeweils um einen potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller in asymmetrischer Halbbrückenschaltung, dessen Transformator mit monopolarer Induktionshub betrieben wird und ausgangsseitig mit einem Einweggleichrichter versehen ist. Die genannten beiden potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller werden eingangsseitig parallel und ausgangsseitig ebenfalls parallel oder, vorzugsweise, in Serie geschaltet. Die Ansteuerung der jeweils zwei zu einem Gleichspannungssteller zusammengefaßten potentialtrennenden Eintakt-Durchflußsteller erfolgt um eine Taktperiodendauer T zeitlich gegeneinander versetzt. Die beiden elektronischen Schalter, welche in jeweils einem der potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller in asymmetrischer Halbbrückenschaltung enthalten sind, werden, zumindest im eingeschwenkten Zustand, in kontinuierlicher Folge für die Dauer von ca. 80% der

Taktperiodendauer T eingeschaltet und anschließend für die Dauer von etwa 120% der Taktperiode ausgeschaltet.

Schlüsseldanke der in Rede stehenden Ausbildung der Erfindung ist nun, daß die Dauer der durch das gerade beschriebene Ein- und Ausschalten der beiden elektronischen Schalter eines Gleichstromdurchflußstellers an dessen Ausgang entstehenden Spannungspulse dadurch auf den gewünschten Wert eingestellt wird, daß die Ein- und damit auch die Ausschaltzeitpunkte der beiden in Rede stehenden elektronischen Schalter um deren Verweildauer im eingeschalteten Zustand, abzüglich der gewünschten Dauer der Spannungspulse, gegeneinander versetzt werden.

Als Ausführungsbeispiel hierzu zeigt Fig. 19 einen von insgesamt 5 potentialtrennenden Gleichspannungsstellern, die erfindungsgemäß, wie in Fig. 18 dargestellt, im Verbund betrieben werden und dort mit der Ziffer (30) gekennzeichnet sind. Die beiden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller (32) und (33) bestehen jeweils aus einer aus den Transistoren (34) und (35) sowie aus den Rückspeisedioden (36) und (37) gebildeten asymmetrischen Halbbrücke, dem Transformator (38) und dem ausgangsseitigen Einweggleichrichter, der aus den Dioden (39) und (40) zusammengesetzt ist. Die beiden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller sind eingangsseitig parallel und ausgangsseitig in Serie geschaltet. Die ausgangsseitige Serienschaltung wird gegenüber der ebenfalls möglichen Parallelschaltung bevorzugt, da bei der erstgenannten die Sperrspannungsbeanspruchung der Dioden (39) nur halb so groß ist, wie bei der letztgenannten. Die zeitlichen Verläufe der Ausgangsspannung u_a sind in Fig. 20 für den Fall der Vollaussteuerung wiedergegeben. Die beiden Transistoren (34) und (35) jedes einzelnen Eintakt-Durchflußstellers werden gleichzeitig eingeschaltet und nach der 0,8fachen Taktperiodendauer wieder ausgeschaltet. Anschließend verbleiben sie für die 1,2fache Taktperiodendauer im ausgeschalteten Zustand. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch. Während die beiden Transistoren eines Eintakt-Durchflußstellers leitend sind, steht an dessen Ausgang die mit dem Übertragungsverhältnis \bar{u} des Transformators (38) übersetzte Eingangsspannung $\bar{u} \cdot U_e$ an. Gleichzeitig wird im Transformator (38) eine magnetische Induktion aufgebaut. In der anschließenden Phase, während der die beiden Transistoren eines Eintakt-Durchflußstellers sich im ausgeschalteten Zustand befinden, wird diese magnetische Induktion wieder abgebaut. Um sicherzustellen, daß dies restlos geschieht und um somit zu verhindern, daß der Transformator (38) immer weiter aufmagnetisiert wird, ist es erforderlich, die Dauer, während der die beiden Transistoren (34) und (35) ausgeschaltet sind, etwa eineinhalbmal so groß zu wählen wie jene, während der die Transistoren eingeschaltet sind. Bei Vollaussteuerung wäre also bei Verwendung von nur einem Eintakt-Durchflußsteller als Gleichspannungssteller (30) der Aussteuergrad auf lediglich 40% limitiert. Daher werden in der erfindungsgemäßen Anordnung zwei Eintakt-Durchflußsteller im Gegentakt betrieben, d.h. um eine Taktperiodendauer T gegeneinander versetzt angesteuert, und zu einem Gleichspannungsstellermodul (30) zusammengefaßt. Bei Vollaussteuerung beträgt der Aussteuergrad des beschriebenen Gleichspannungsstellermoduls dann 80%.

Für eine Reduzierung des Aussteuergrades der Ausgangsspannung u_a der beschriebenen Anordnung werden die Schaltmuster der einzelnen Transistoren beibehalten, die Einschaltzeitpunkte der beiden zum selben

Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller gehörenden Transistoren (34) und (35) jedoch um die Zeitdauer T_v gegeneinander verschoben. Die Zeitdauer T_v wird so gewählt wie die maximale Pulsdauer bei Vollaussteuerung abzüglich der gewünschten Pulsdauer der Ausgangsspannung u.a.

In Fig. 21 sind die Verhältnisse für einen Aussteuergrad von 30% dargestellt. Da der maximale Aussteuergrad beim vorgestellten Beispiel 80% beträgt, müssen dazu die Einschaltzeitpunkte der beiden zu jeweils einem Eintakt-Durchflußsteller gehörenden Transistoren um $T_v = 0,5 T$ gegeneinander verschoben sein.

Die zuletzt vorgestellte Einrichtung weist den Vorzug auf, daß alle in ihr enthaltenen elektronischen Schalter stets für die gleiche Zeitdauer eingeschaltet werden und somit eine Mindest-Einschaltdauer garantierbar ist.

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Speisung eines Verbrauchers zweipols mit einem weitgehend überschwingungsfreien und dennoch rasch veränderbaren Gleichstrom, dadurch gekennzeichnet, daß an n voneinander potentialgetrennten Gleichspannungsquellen jeweils ein Exemplar von insgesamt n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzstellern angeschlossen ist und daß die genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller nach dem Prinzip der Pulsbreitenmodulation mit einer einheitlich großen Taktperiodendauer T betrieben werden und daß die einheitlich langen Taktperioden der genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller in symmetrischer Weise um $1/n$ der Taktperiodendauer T zeitlich gegeneinander versetzt werden und daß die genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller derart angesteuert werden, daß sich im elektrisch eingeschungenen Zustand bei jedem der n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller derselbe Aussteuergrad, also dasselbe Verhältnis von der jeweiligen Einschaltdauer T_e zur Taktperiodendauer T ergibt und daß die genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller ausgangsseitig in Reihe geschaltet sind und daß der zu speisende Verbraucherzweipol an diese Reihenschaltung der genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller angeschlossen ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß entweder die Induktivität der Speicherdrosseln der genannten n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller erheblich kleiner bemessen wird als dies üblich wäre, wenn diese Gleichspannungs-Tiefsetzsteller nicht im Verbund, sondern getrennt betrieben würden, oder daß die vorgenannten Ausgangsdrosseln durch einfache Leitungsstücke ersetzt werden, und daß in die zum Verbraucher führende Verbindungsleitung nur eine Glättungsdrossel eingefügt wird, oder daß die beiden vorgenannten Maßnahmen an der erfindungsgemäßen Einrichtung gemeinsam realisiert werden.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Festlegung der Ein- und Ausschaltzeitpunkte in den n verschiedenen Ansteuerschaltungen der n Gleichspannungs-Tiefsetzsteller außer über den momentan vorgeschriebenen Sollwert des Aussteuergrades, also das Verhältnis der gewünschten Einschaltdauer T_e zur Taktperiodendauer T zusätzlich noch im Wege einer Vorsteuerung über die wichtigsten Kenngrößen, welche den momentanen Zustand der einzelnen Gleichspannungs-Tiefsetzsteller kennzeichnen, wie z. B. Ausgangsstrom, Temperatur oder mittlere Ausgangsspannung, derart erfolgt, daß die n Istwerte des Aussteuergrades, also des sich tatsächlich einstellenden Verhältnisses der jeweiligen Einschaltdauer zur Taktperiodendauer im Verlauf und nach Abschluß eines Ausgleichsvorganges schnellst- und genauestmöglich zumindest einem einheitlichen Wert zustreben oder, vorzugsweise, den für diesen Aussteuergrad einheitlich vorgeschriebenen Sollwert annehmen.

4. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, die sich bei den einzelnen Gleichspannungs-Tiefsetzstellern tatsächlich einstellenden Istwerte des Aussteuergrades, also des sich tatsächlich einstellenden Verhältnisses der jeweiligen Einschaltdauer zur Taktperiodendauer erfaßt und deren Differenzen zum momentan für diesen Aussteuergrad einheitlich vorgeschriebenen Sollwert bei der Festlegung der jeweiligen Ein- und Ausschaltzeitpunkte im Wege einer Regelung derart korrigierend Einfluß nehmen, daß die n Istwerte des Aussteuergrades, also des sich tatsächlich einstellenden Verhältnisses der jeweiligen Einschaltdauer zur Taktperiodendauer im Verlauf und nach Abschluß eines Ausgleichsvorganges schnellst- und genauestmöglich zumindest einem einheitlichen Wert zustreben oder, vorzugsweise, den für diesen Aussteuergrad einheitlich vorgeschriebenen Sollwert annehmen.

5. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in ihr sowohl die in Anspruch 3 beschriebene Vorsteuerung des Aussteuergrades zumindest auf einen einheitlichen Wert oder, vorzugsweise, auf den für diesen Aussteuergrad einheitlich vorgeschriebenen Sollwert als auch die in Anspruch 4 beschriebene Regelung des Aussteuergrades zumindest auf einen einheitlichen Wert oder, vorzugsweise, auf den für diesen Aussteuergrad gemeinsam vorgeschriebenen Sollwert gemeinsam realisiert sind.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die in den n Gleichspannungs-Tiefsetzstellern eingesetzten n elektronischen Schalteinheiten jeweils als Reihenschaltung von zwei elektronischen Schaltern ausgeführt sind und daß in jeder dieser elektronischen Schalteinheiten vorab einer der beiden darin enthaltenen elektronischen Schalter mindestens für die Dauer T einer Taktperiode eingeschaltet wird und daß ein von einer einzelnen elektronischen Schalteinheit verlangtes Einschalten jeweils durch das Einschalten jenes in ihr enthaltenen elektronischen Schalters vollzogen wird, der momentan noch nicht eingeschaltet ist und daß ein von einer einzelnen elektronischen Schalteinheit verlangtes Ausschalten jeweils durch das

Ausschalten jenes der beiden in ihr enthaltenen elektronischen Schalter vollzogen wird, dessen letztes Einschalten jeweils länger zurückliegt, wodurch sich für alle elektronischen Schalter der erfindungsgemäßen Einrichtung eine Mindestdauer ihrer Einschaltintervalle von der Länge einer Taktperiodendauer ergibt.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

daß die in den n Gleichspannungs-Tiefsetzstellern eingesetzten n elektronischen Schalteinheiten jeweils als Brückenschaltung von vier elektronischen Schaltern ausgeführt sind und

daß innerhalb jeder dieser als Brückenschaltung von vier elektronischen Schaltern ausgeführten elektronischen Schalteinheiten vorab in jedem der beiden darin enthaltenen Brückenzweige einer der beiden dort in Reihe geschalteten elektronischen Schalter mindestens für die Dauer T einer Taktperiode eingeschaltet wird und

daß dann jeweils das erste von einer dieser elektronischen Schalteinheiten verlangte Einschalten durch das Einschalten eines der beiden in ihr enthaltenen elektronischen Schalter erfolgt, die bis dahin noch nicht eingeschaltet waren und

daß anschließend ein von einer einzelnen, eingeschalteten elektronischen Schalteinheit verlangtes Ausschalten jeweils durch das Ausschalten jenes in ihr enthaltenen, momentan noch eingeschalteten elektronischen Schalters vollzogen wird, der Bestandteil des bis dahin leitenden Brückenzweiges ist und der von den beiden in diesem Brückenzweig enthaltenen elektronischen Schaltern derjenige ist, dessen letztes Einschalten jeweils länger zurückliegt und

daß anschließend ein von einer einzelnen, ausgeschalteten elektronischen Schalteinheit verlangtes Einschalten jeweils durch das Einschalten jenes in ihr enthaltenen momentan noch ausgeschalteten elektronischen Schalters vollzogen wird, der Bestandteil desjenigen der beiden Brückenzweige ist, bei welchem der Zustand des Leitens jeweils länger zurückliegt, wodurch sich für alle elektronischen Schalter der erfindungsgemäßen Einrichtung eine Mindestdauer ihrer Einschaltintervalle und ihrer Ausschaltintervalle von der Länge einer Taktperiodendauer ergibt.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die dort enthaltenen n gleichartigen potentialverbindenden Gleichspannungs-Tiefsetzsteller entfernt und durch n gleichartige, potentialtrennende Gleichspannungssteller ersetzt werden.

9. Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die dort enthaltenen n voneinander potentialgetrennten Gleichspannungsquellen zu einer gemeinsamen Gleichspannungsquelle zusammengefaßt werden.

10. Einrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet,

daß die dort enthaltenen n gleichartigen potentialtrennenden Gleichspannungssteller aus jeweils zwei gleichartigen Teilmodulen zusammengesetzt sind und

daß es sich bei diesen beiden gleichartigen Teilmodulen, aus denen die potentialtrennenden Gleichstromsteller zusammengesetzt sind, jeweils um einen potentialtrennenden Eintakt-Gleichstrom-

durchflußsteller in asymmetrischer Halbbrückenschaltung handelt, dessen Transformator mit monopolarem Induktionshub betrieben wird und ausgangsseitig mit einem Einweggleichrichter versehen ist und

daß diese beiden potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller in asymmetrischer Halbbrückenschaltung eingangsseitig parallel und ausgangsseitig ebenfalls parallel oder, vorzugsweise, in Serie geschaltet sind und

daß die Ansteuerung der jeweils zwei in den n gleichartigen potentialtrennenden Gleichspannungsstellern enthaltenen potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußstellern um eine Taktperiodendauer T zeitlich gegeneinander versetzt erfolgt und

daß die beiden elektronischen Schalter, welche in jeweils einem der potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller in asymmetrischer Halbbrückenschaltung enthalten sind, zumindest im eingeschwungenen Zustand in kontinuierlicher Folge für die Dauer von etwa 80% der Taktperiodendauer T eingeschaltet und anschließend für die Dauer von etwa 120% der Taktperiodendauer ausgeschaltet werden und

daß die Dauer der derart am Ausgang der potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller in asymmetrischer Halbbrückenschaltung entstehenden Spannungspulse dadurch auf den gewünschten Wert eingestellt wird, daß die Ein- und damit auch die Ausschaltzeitpunkte der beiden zu jeweils einem der potentialtrennenden Eintakt-Gleichstromdurchflußsteller in asymmetrischer Halbbrückenschaltung gehörenden elektronischen Schalter um deren Verweildauer im eingeschalteten Zustand abzüglich der gewünschten Dauer der Spannungspulse gegeneinander versetzt werden.

Hierzu 21 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

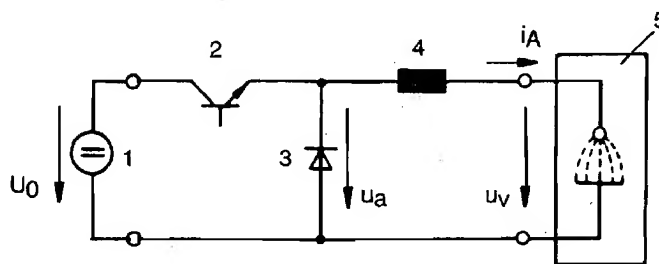


FIG. 1

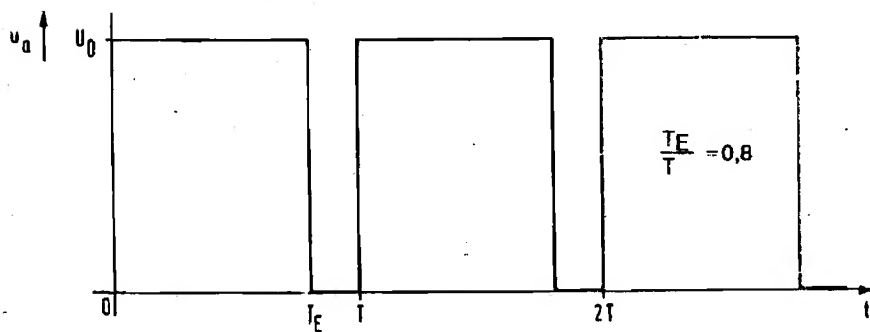
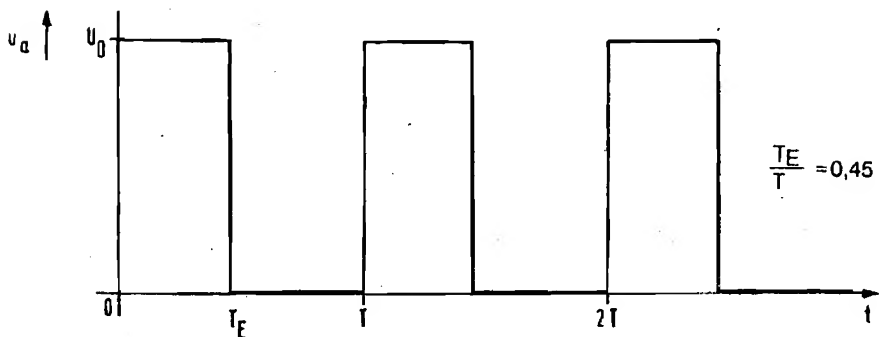
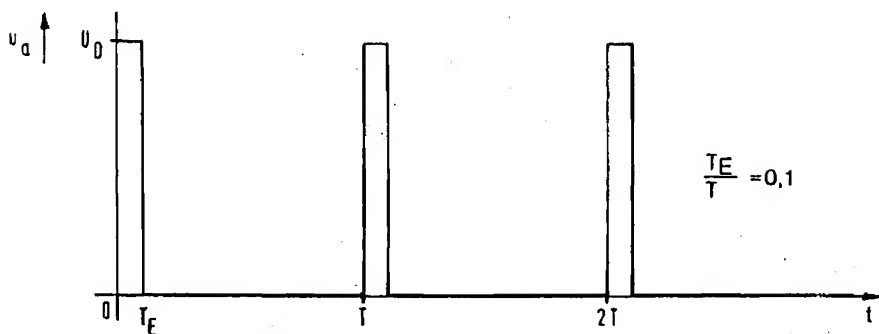


FIG. 2

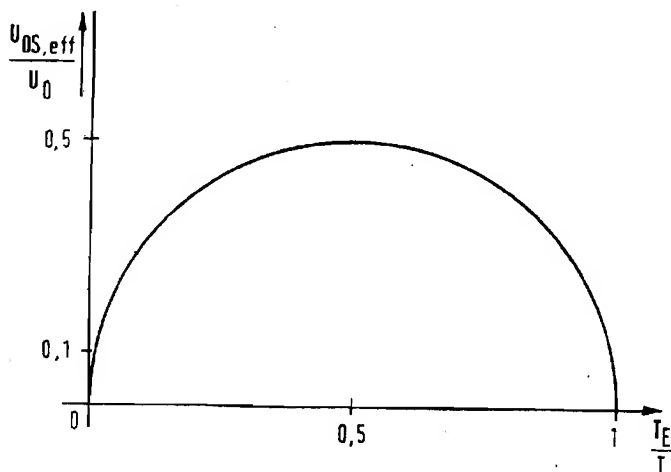


FIG. 3

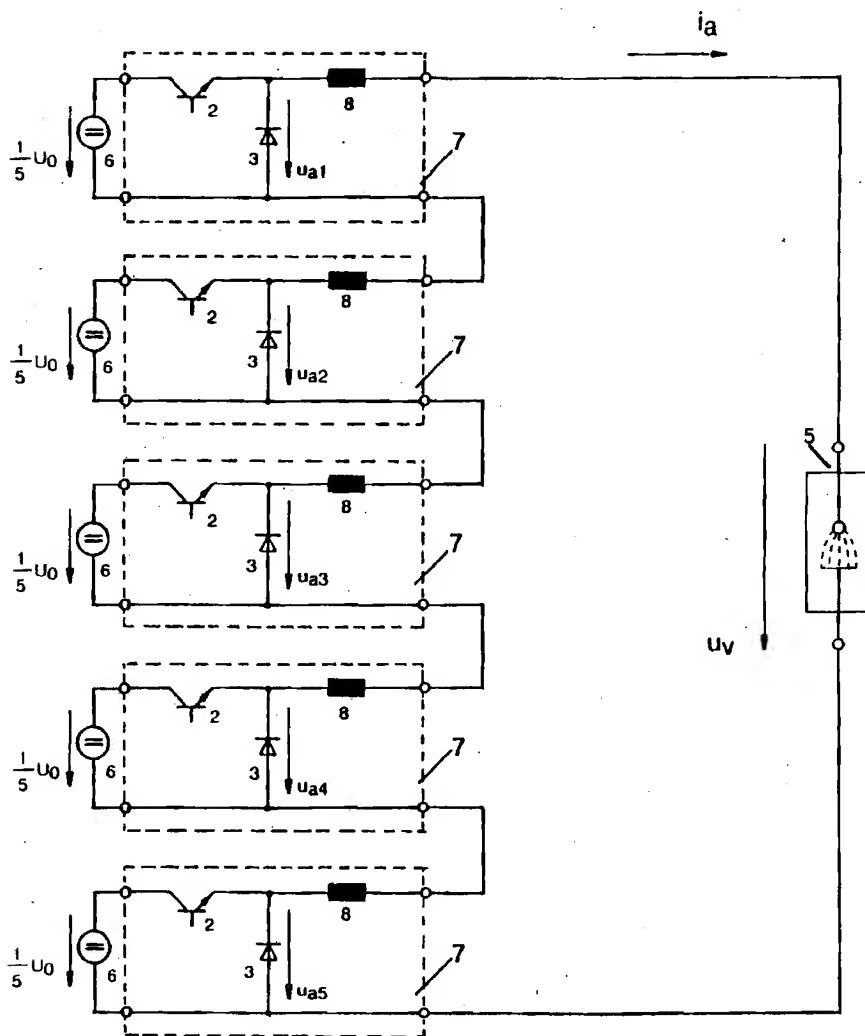


FIG. 4

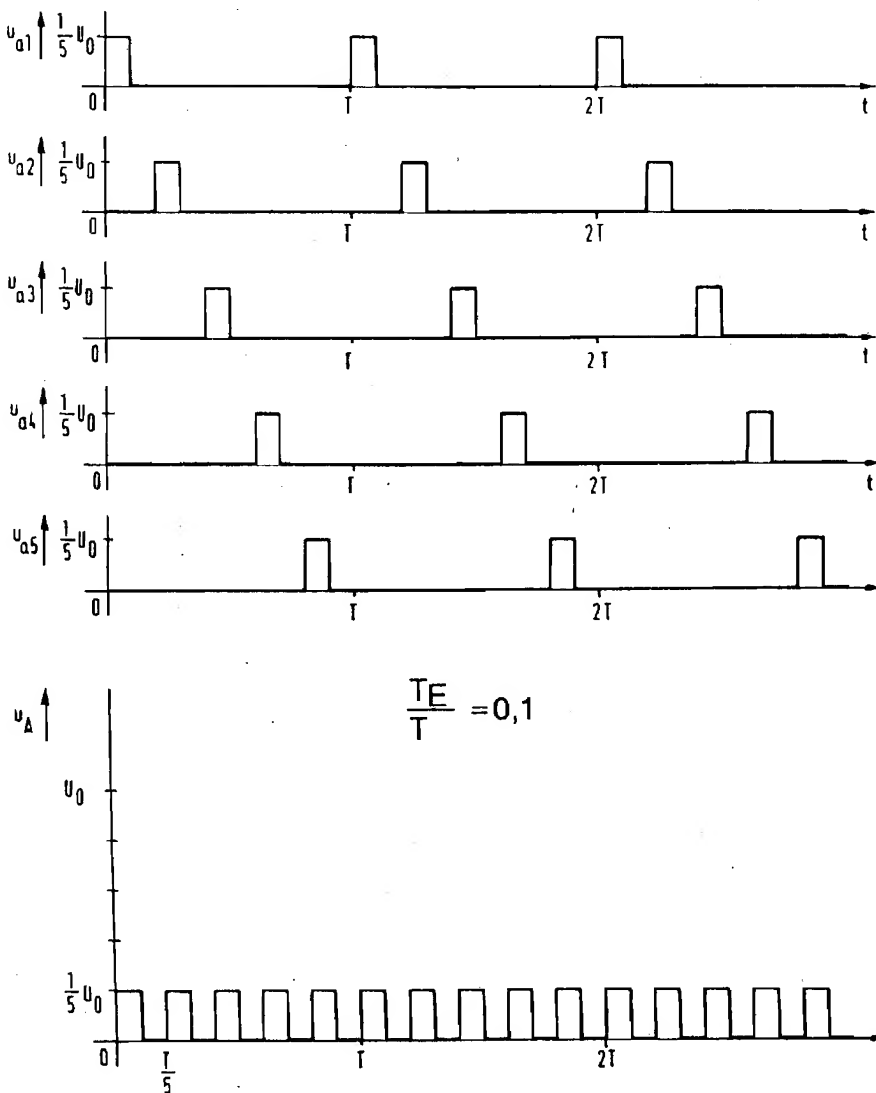


FIG. 5

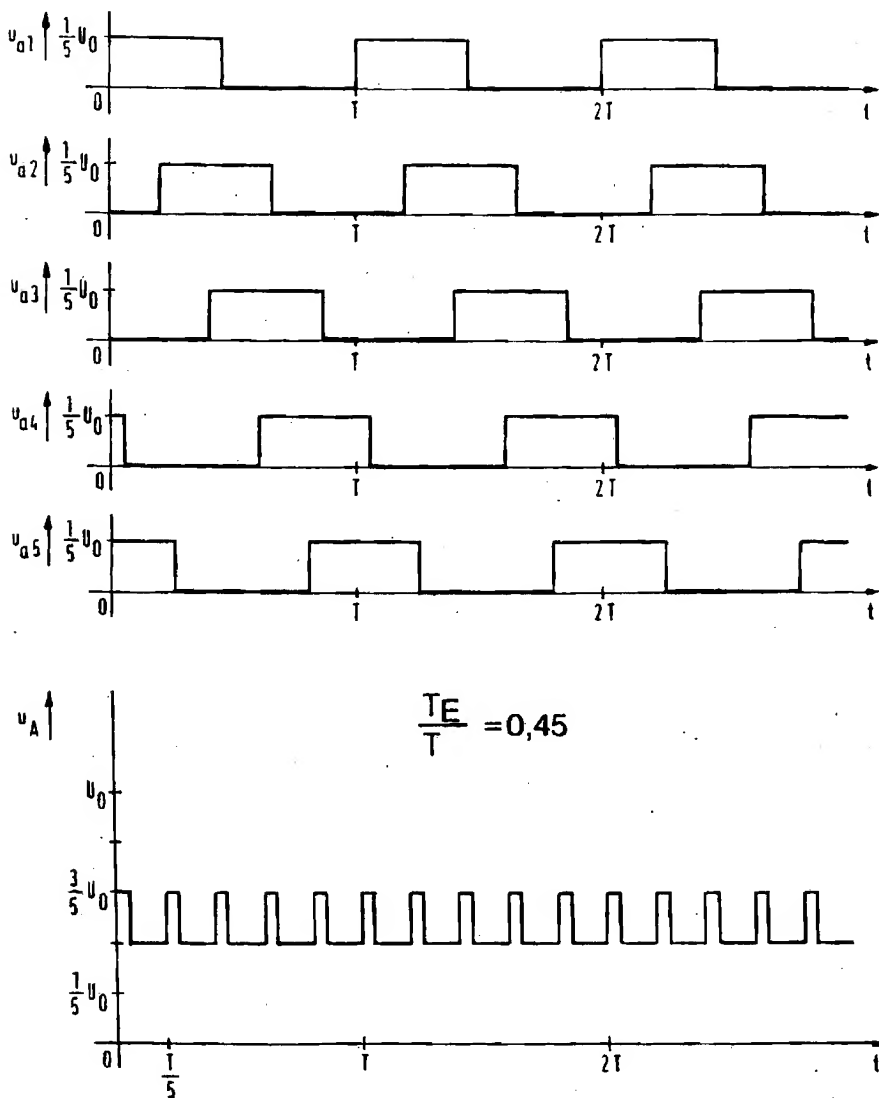


FIG. 6

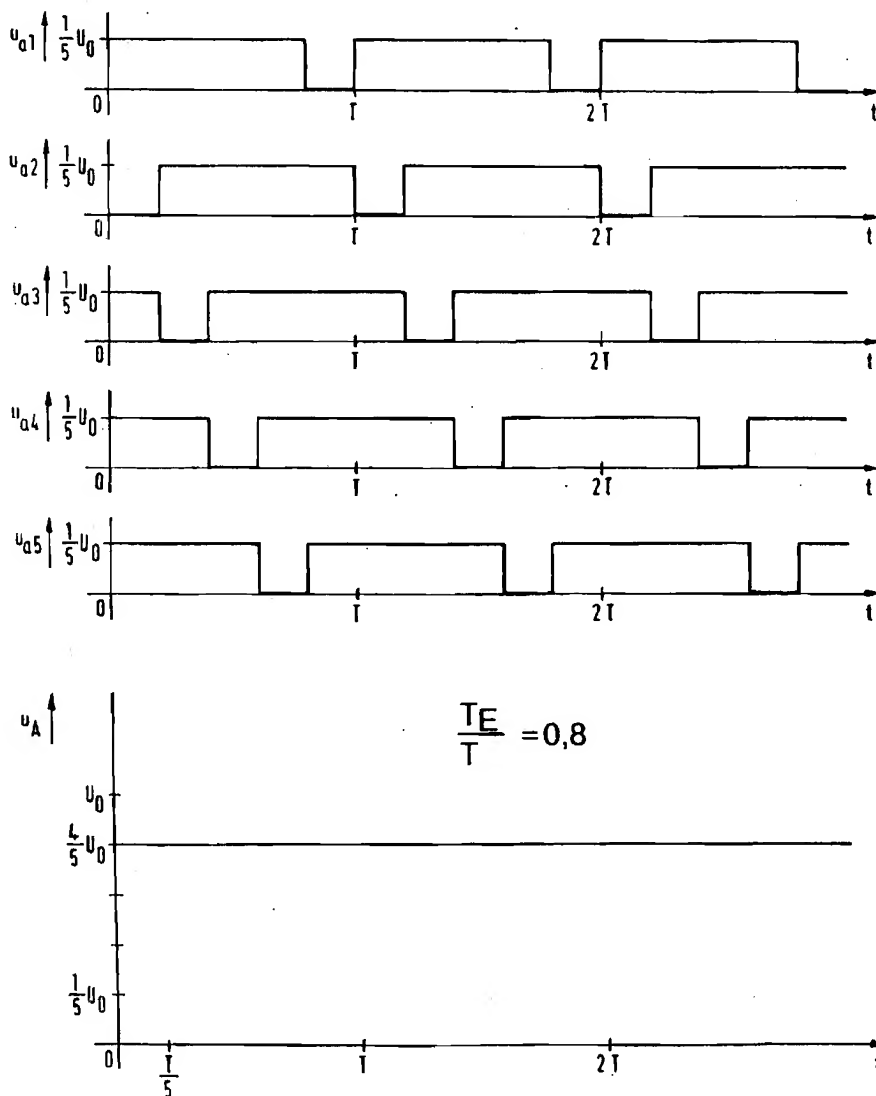


FIG. 7

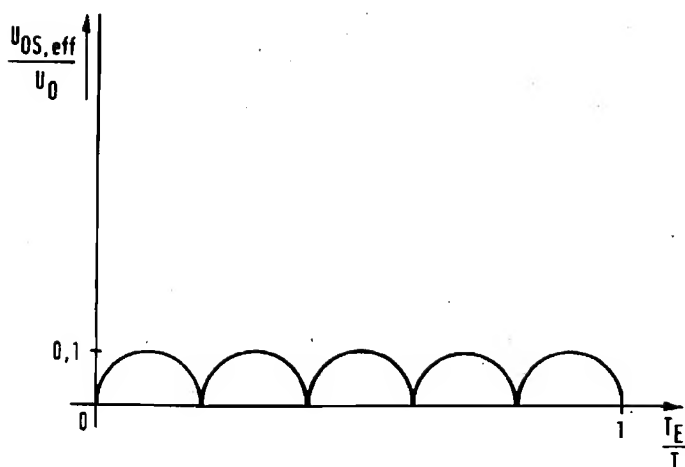


FIG. 8

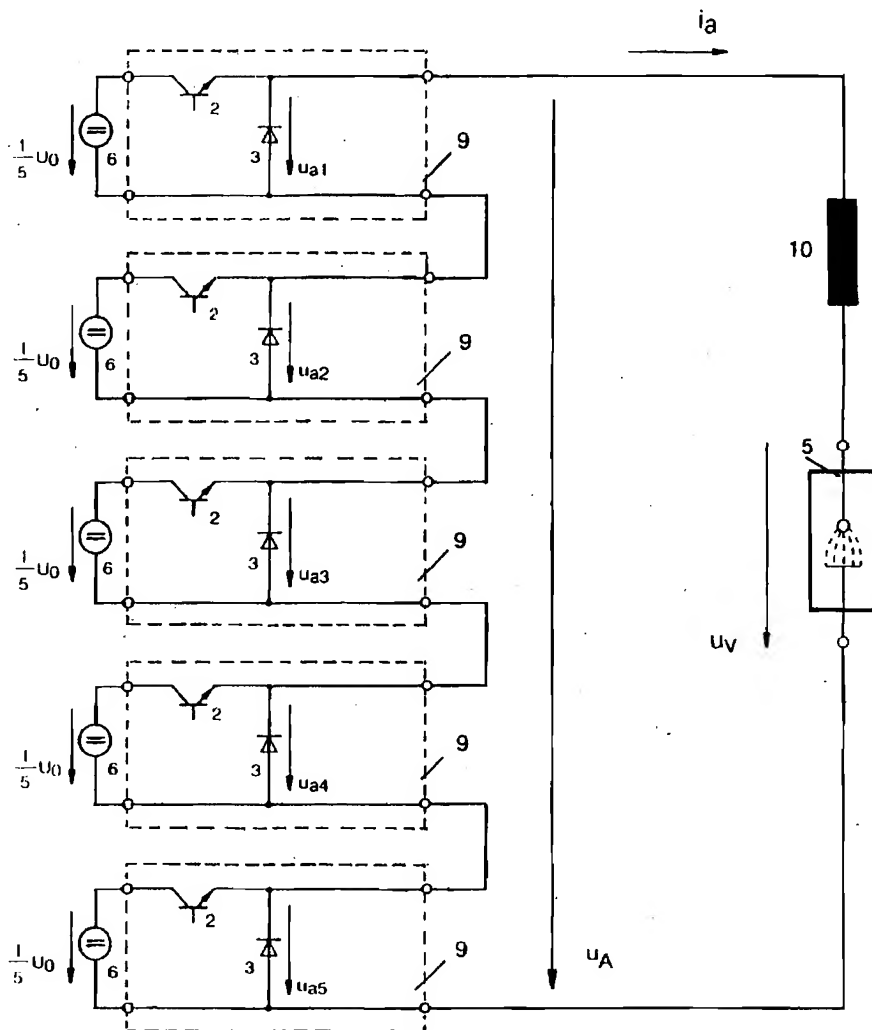


FIG. 9

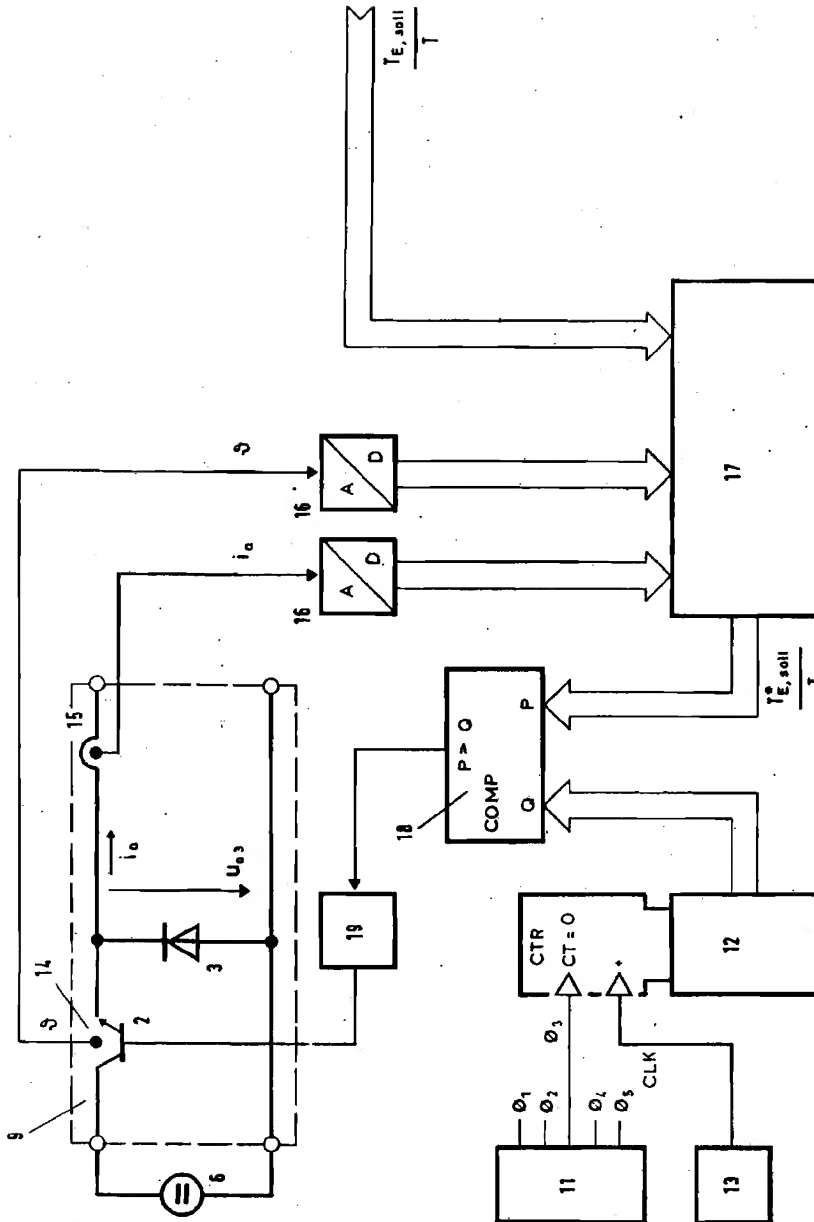


Fig. 10

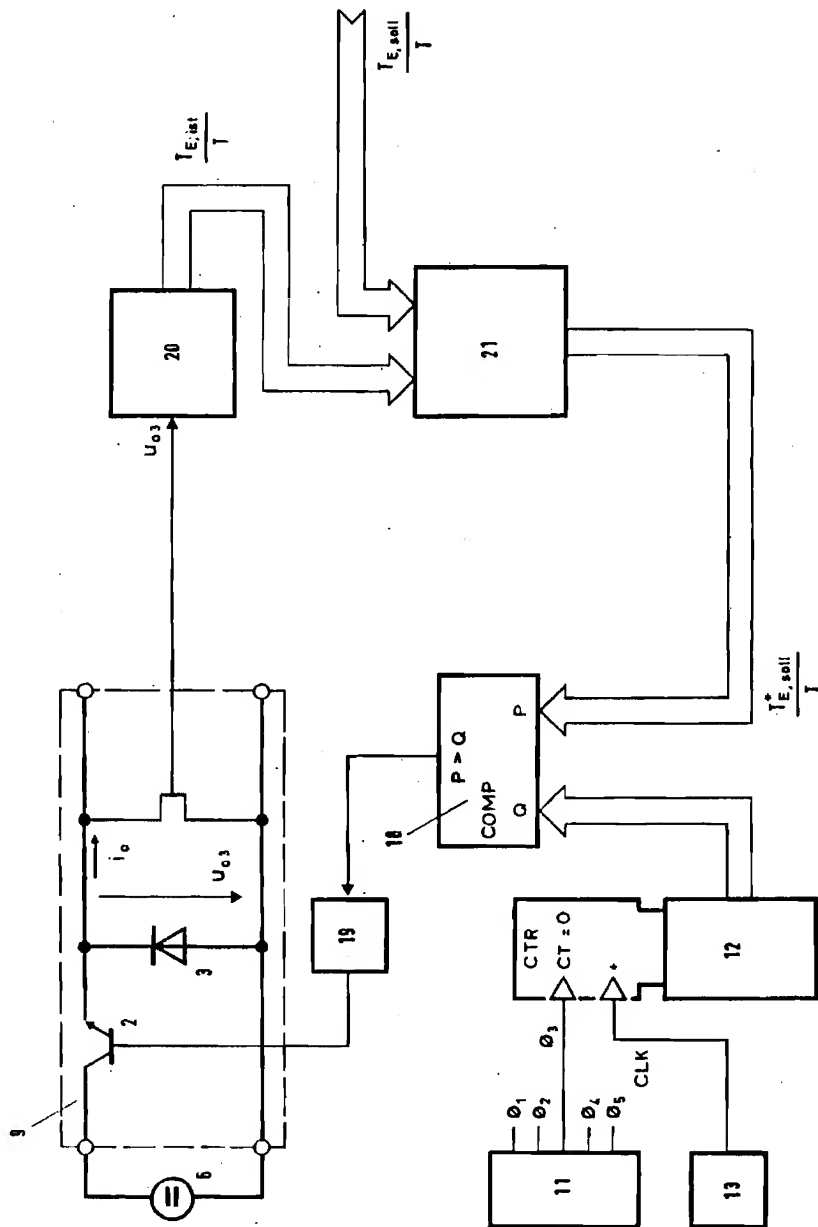


Fig. 11

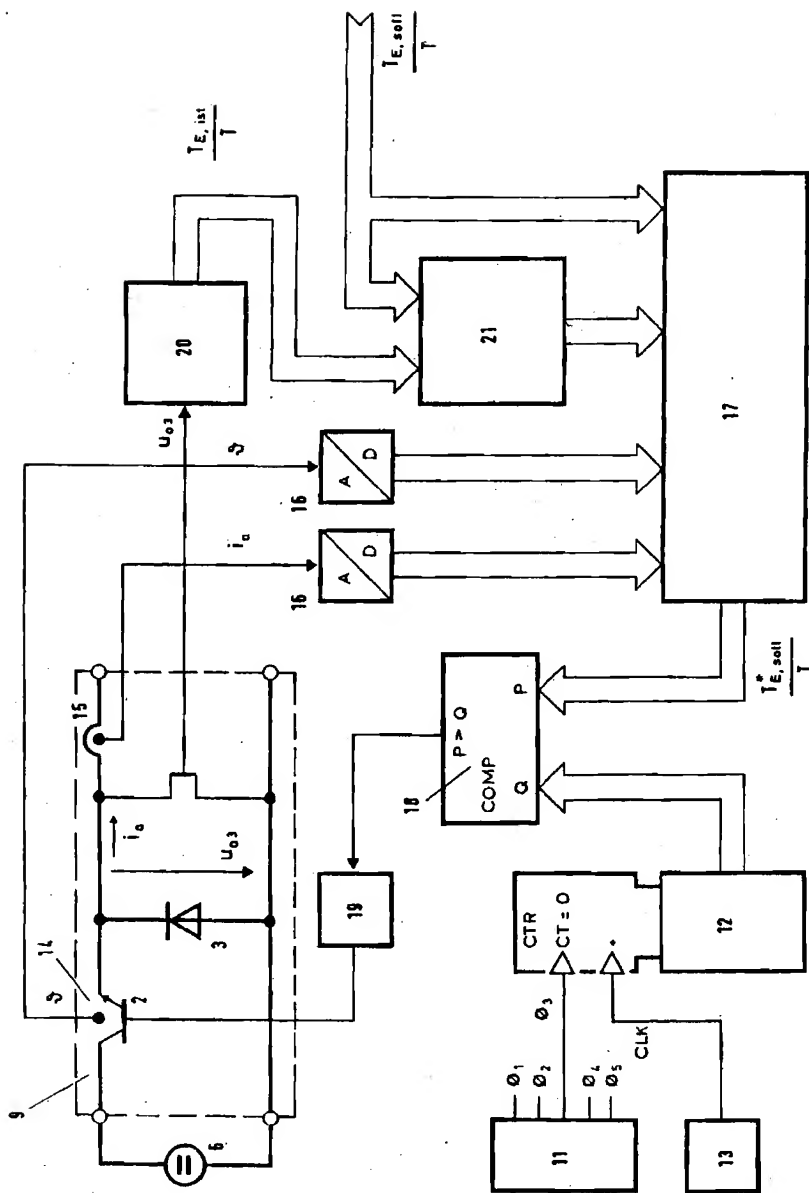


Fig. 12

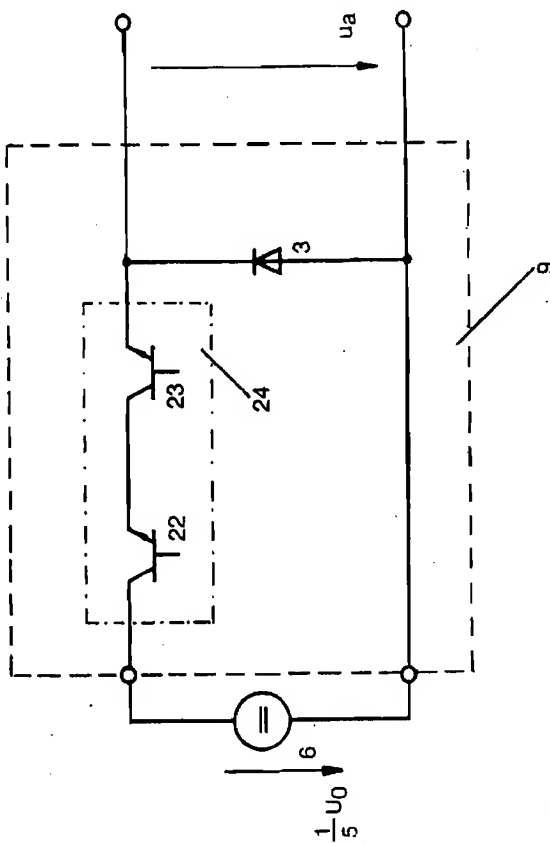


FIG. 13

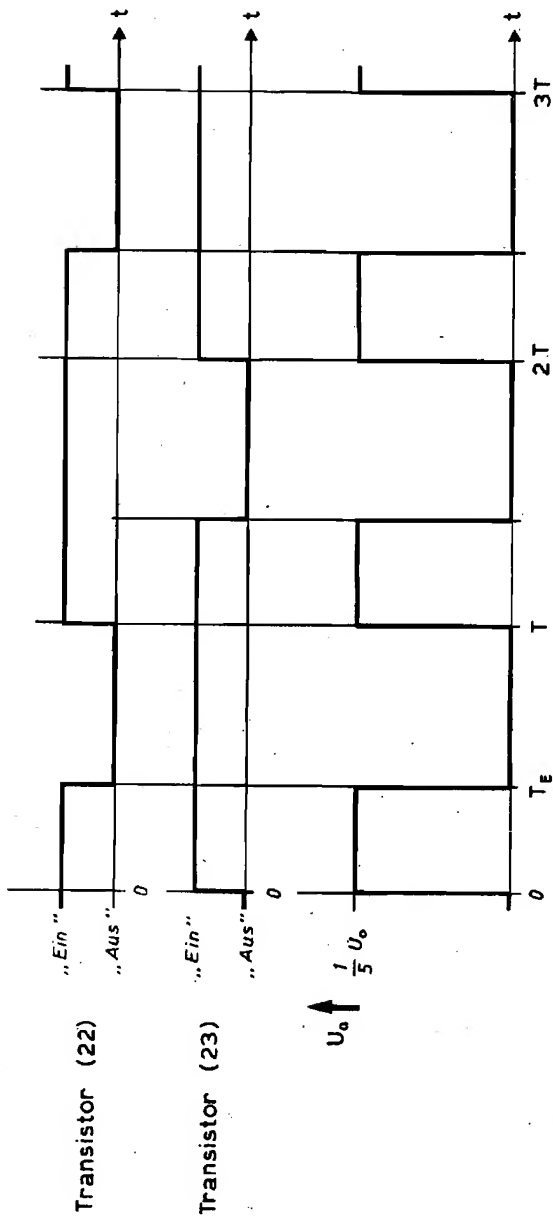


Fig. 14

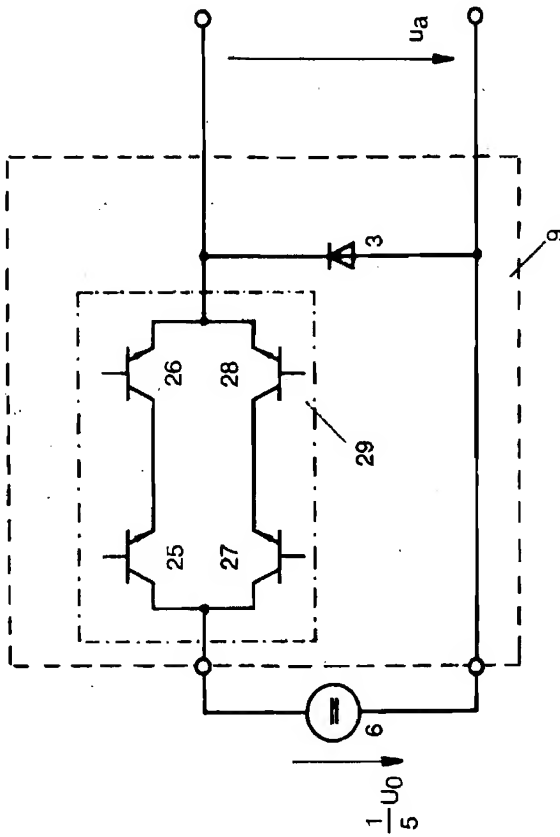


FIG. 15

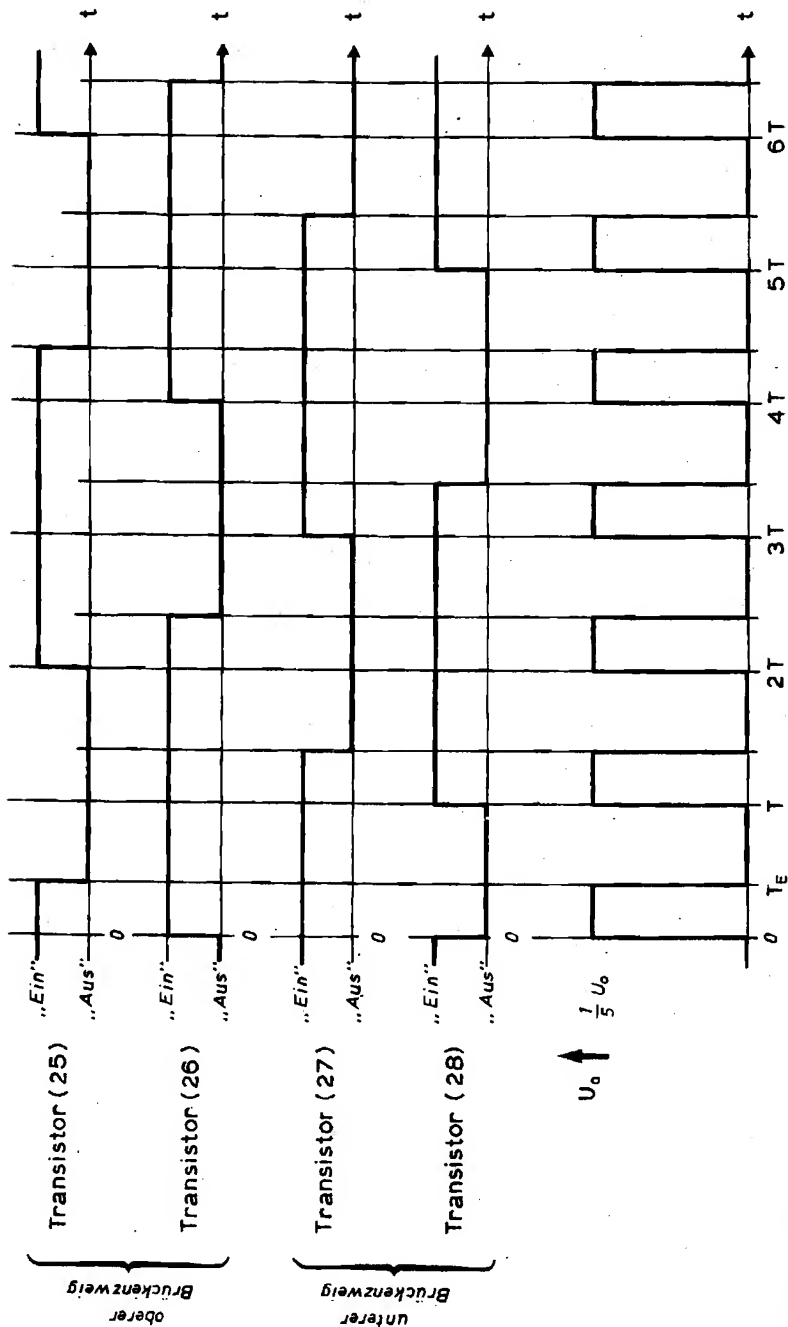


Fig 16

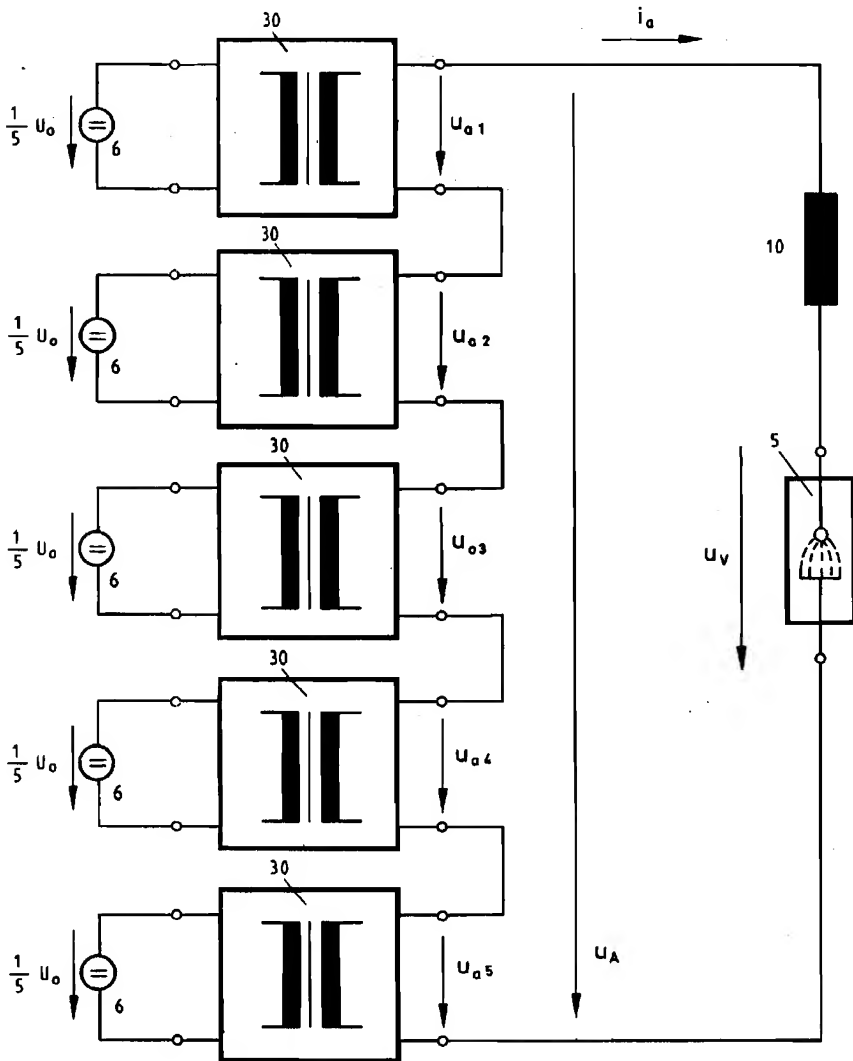


Fig. 17

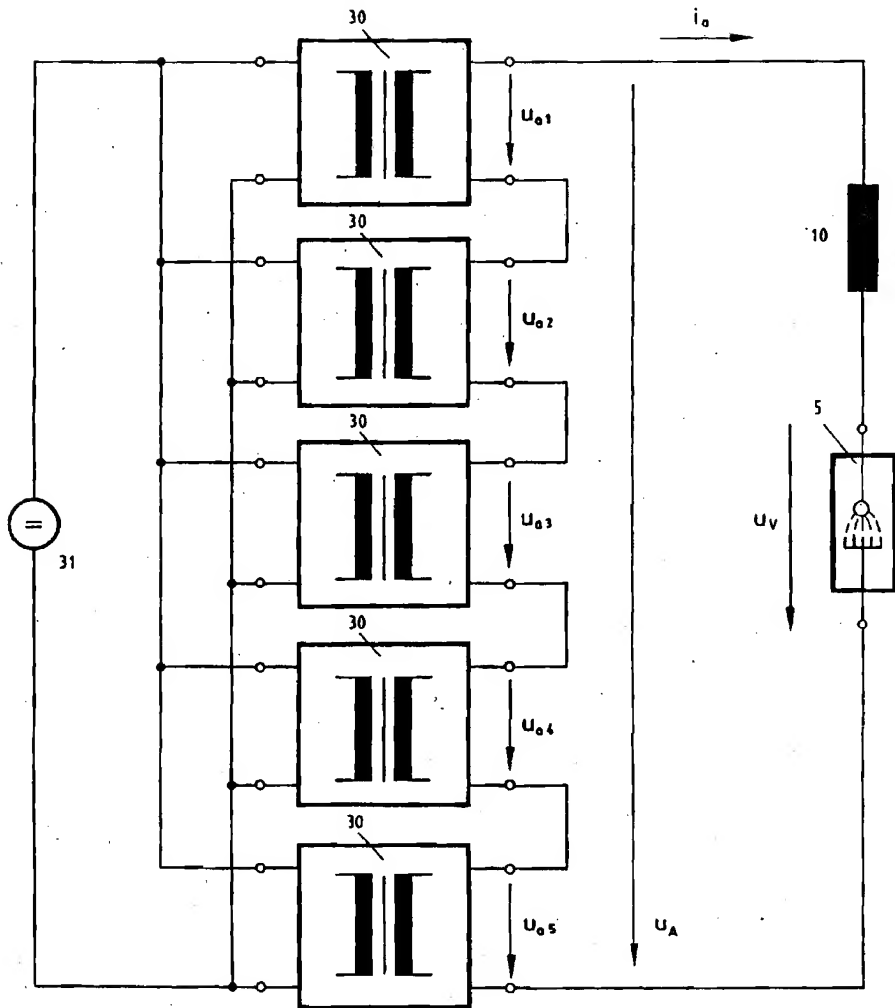


Fig. 18

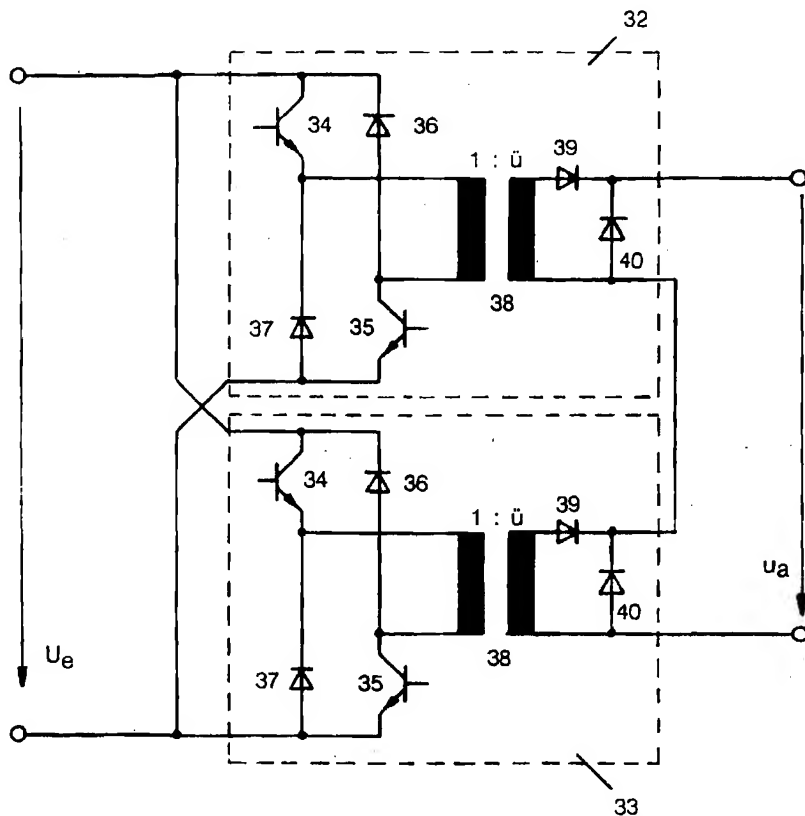


FIG. 19

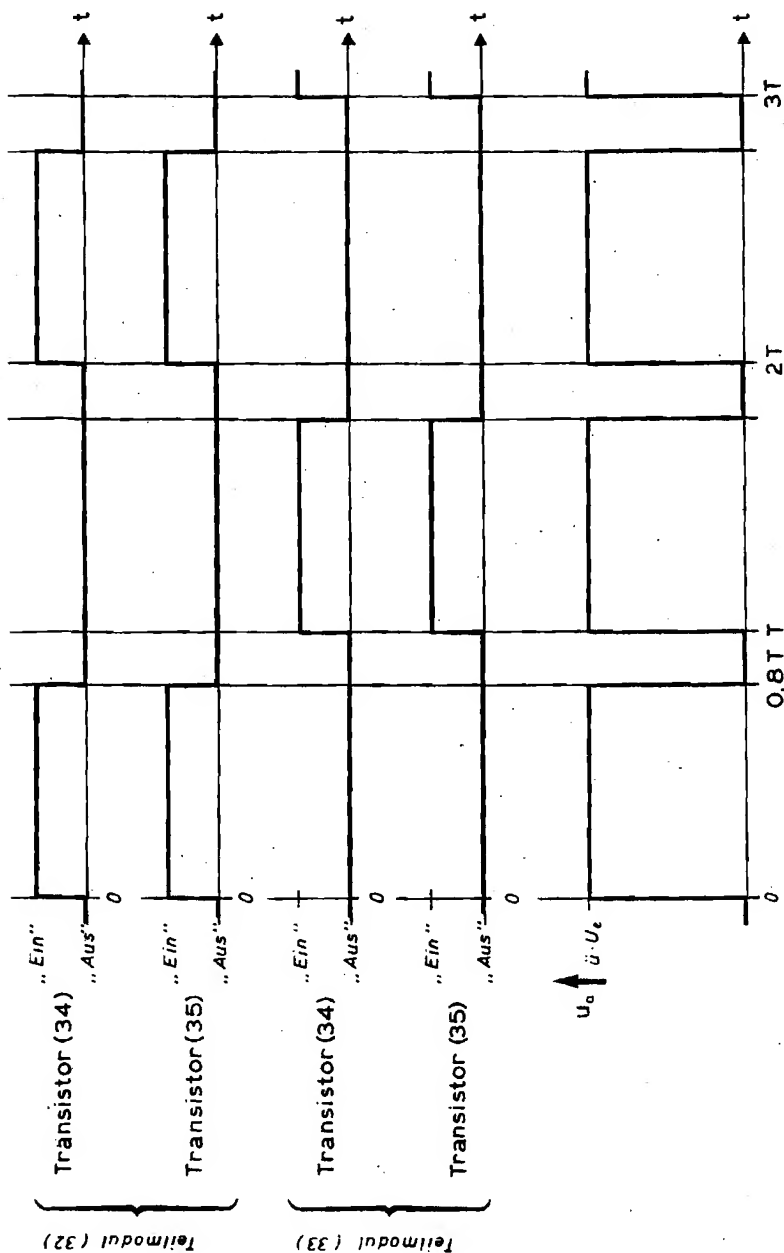


Fig. 20

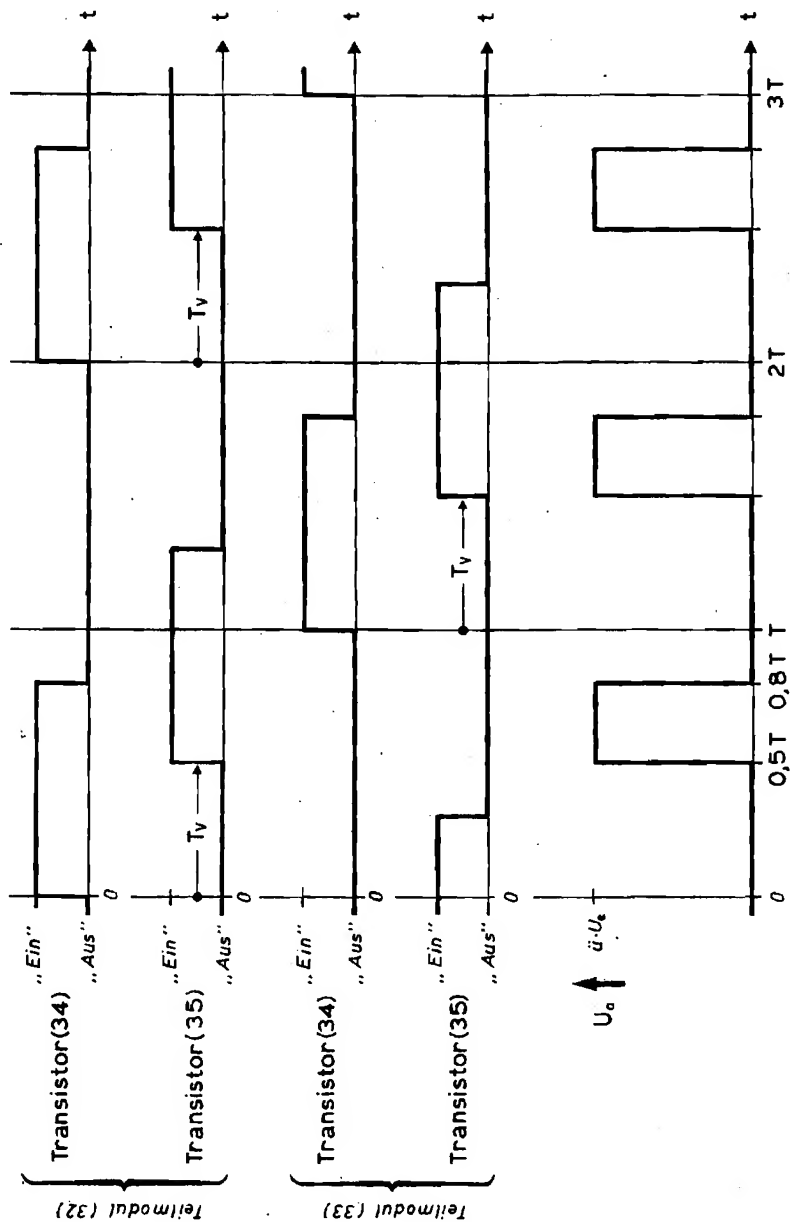


Fig. 21